

Акмен Р.Г., Братута Э.Г., Круглякова О.В.

## ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В КАПЛЕ НА ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ КАПЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В КОНДЕНСАТОРЕ СМЕШИВАЮЩЕГО ТИПА

*Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"*

В связи с известными проблемами водоснабжения крупных тепловых и атомных станций перспективным [1] представляется использование замкнутой конденсационно-охладительной системы, основу которой составляет конденсатор смешивающего типа (КСТ) в едином контуре с "сухой" градирней Геллера.

Основными преимуществами такой системы является полное исключение потерь циркуляционной воды за счет испарения и механического уноса (имеющих место в обычных градирнях) и независимость работы охлаждающего комплекса от места расположения ТЭС и АЭС относительно источников водоснабжения.

К настоящему времени имеется достаточный объем научно-технических разработок и опыт эксплуатации градирен Геллера, позволяющие создавать эти объекты применительно к конкретным режимным характеристикам работы станции и климатическим условиям района ее размещения. Вместе с тем, для перспективного проектирования КСТ крупных турбоблоков обычно крайне ограничены необходимые сведения.

Ситуация усугубляется еще и тем, что для КСТ нецелесообразно проводить эксперимент на маломасштабной модели, так как при физическом моделировании процессов тепло- и массообмена между паром и диспергированной жидкостью невозможно обеспечить условия однозначности в натурном и модельном объектах.

Общей особенностью контактных тепломассообменных аппаратов любого технологического назначения, отличающей их от аппаратов рекуперативного типа, является значительная зависимость интенсивности обменных процессов от конкретной геометрии рабочего пространства аппарата и дисперсного состава жидкой фазы, формирующего величину межфазной поверхности. Именно поэтому практически исключается возможность использования существующих эмпирических методик расчета КСТ при проектировании конденсаторов нового типа, для которых экспериментальные данные отсутствуют.

Очевидно, в такой ситуации целесообразно использовать математическое моделирование процессов тепломассообмена в КСТ, построенное таким образом, чтобы можно было рассчитать процесс конденсации при произвольном сочетании режимно-геометрических характеристик аппарата без привлечения эмпирических соотношений, зависящих от этих характеристик.

В нашей работе [2] применительно к процессам тепломассообмена в конденсаторе смешивающего типа паровых турбин предложена математическая модель, отражающая практически все особенности указанного процесса, включая дисперсный состав капель, их стартовую скорость на выходе из форсунок, направление движения капель, начальную температуру охлаждающей воды и кратность конденсации.

Анализ результатов вычислительного эксперимента с использованием математической модели смесительного конденсатора [2] и сопоставление их с данными натурно-

го испытания венгерского конденсатора фирмы EGI показали, что при достаточно хорошем качественном совпадении результатов имеет место расхождение по недогреву охлаждающей воды до температуры насыщения. В связи с тем, что в работе [2] принималась гипотеза о поведении капли воды как твердой сферы, а теплоперенос в капле осуществлялся только теплопроводностью, появилась необходимость учета внутреннего перемешивания жидкости в капле с использованием модели вихрей Хилла.

Исходя из результатов работ [3, 4] и принимая во внимание тот факт, что среднее время пребывания капли в паровом потоке – около 1 сек., а условия на поверхности капли (как следует из [5]) с достаточной для практики точностью можно принять, как граничные условия 1-го рода, было проведено численное интегрирование значений локальной плотности теплового потока, поступающего в каплю. При данных условиях, найденный в [4] интеграл

$$I = \frac{\sqrt{3}}{2} \int_0^{\pi} \frac{\sin^3 \theta \, d\theta}{\left[ (f - \cos \theta) - (f^3 - \cos^3 \theta)/3 \right]^{1/2}}, \quad (1)$$

с достаточной степенью точности можно принять равным единице.

В связи с этим, средний тепловой поток, поступающий в каплю, получается равным

$$\bar{Q} = 12 \, d \, \lambda (t_{\text{ср}} - \bar{t}) \sqrt{\pi \cdot Pe}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{ср}}$  – температура насыщения,  $\bar{t}$  – средняя температура капли,  $Pe = Wd/\nu$  – критерий Пекле,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности капли.

Эти уточненные условия теплообмена, отражающие эффект конвективного перемешивания в капле, были использованы в ранее разработанной нами математической модели процесса конденсации в конденсаторе смешивающего типа [2].

Математическая модель включает условие (2), а также следующие уравнения.

Уравнение движения капли в паровом потоке в виде

$$m \frac{dU}{d\tau} = mg - c\rho f \frac{|U|U}{2}, \quad (3)$$

где  $m$  – масса капли;  $U = W_n - W_k$  – относительная скорость капли;  $W_n$  и  $W_k$  – относительные скорости пара и капли соответственно;  $c$  – коэффициент аэродинамического сопротивления капли;  $\rho$  – плотность пара;  $f$  – площадь миделевого сечения капли;  $g$  – ускорение силы тяжести.

Уравнение функции распределения объемов капель по диаметрам [6]

$$v(D) = \frac{2}{3\pi} \beta^4 D^3 K_1(\beta D), \quad (2)$$

где  $\beta$  – параметр распределения;  $K_1(\beta D)$  – функция Бесселя I-го порядка;  $D$  – диаметр капли.

Также использовались балансные соотношения теплового взаимодействия пара с каплями в факеле распылителя и пленкой, стекающей по ограждающим поверхностям

конденсатора и ряд термодинамических соотношений, определяющих состояние жидкой и паровой фаз.

Численный эксперимент с использованием этой модели позволил определить влияние внутреннего перемешивания жидкости на общее тепловосприятие капли.

Результаты численного эксперимента представлены на рис.1.

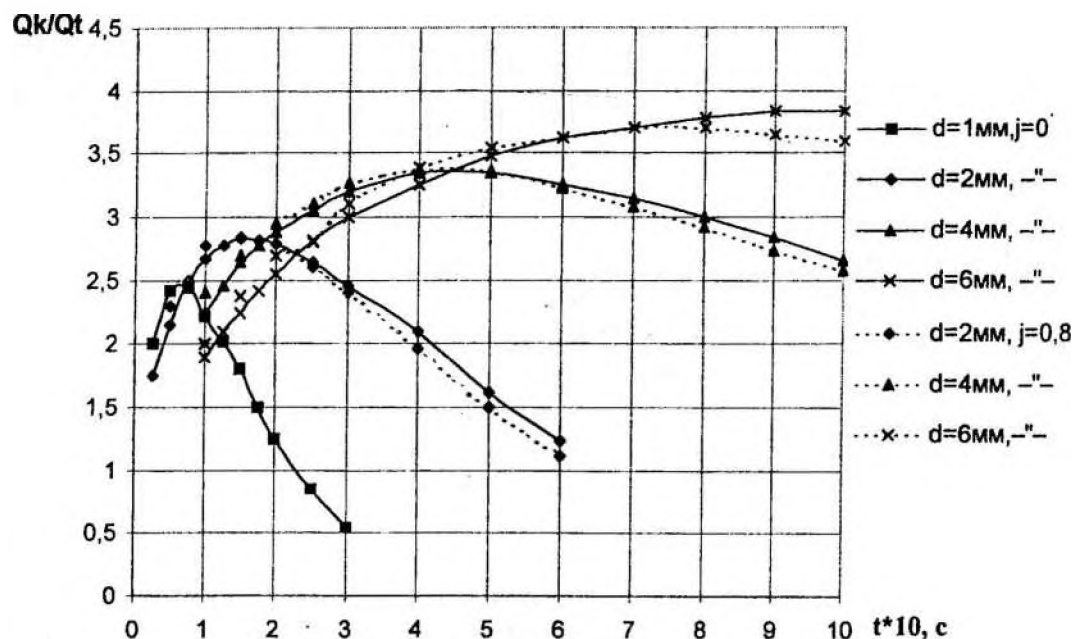


Рис.1 Изменение относительно тепловосприятия капель в зависимости от времени  $t$ , диаметра капель  $d$  и направления движения капли  $j$  относительно скорости пара

Здесь  $Q_k$  – тепловосприятие капли с учетом влияния вихрей Хилла,  $Q_t$  – то же без учета внутренней циркуляции в капле.

Анализ этих данных показывает, что для капель малого диаметра (порядка 1 мм) влияние перемешивания увеличивает теплосъем в 2,4 раза только в начальный период времени (до 0,2 сек.). В то же время для капель большого диаметра (2–6 мм) перемешивание более существенно (до четырехкратного увеличения) и имеет место в течение всего времени пребывания капли в паровой среде. Из этих же данных следует, что относительное направление движения капли  $j$  (по отношению к направлению движения пара) практически не сказывается на величине теплового потока, поглощаемого каплей.

Таким образом, учет внутреннего перемешивания жидкости в капле с использованием вихрей Хилла позволяет построить более адекватную математическую модель конденсатора смешивающего типа.

### Литература

1. Korolev I.I., Bergmann G. Cooling system selection for a nuclear power unit of 1000 MW // 8<sup>th</sup> Cooling Tower and Spraying Pond Symposium, Karlsruhe, Germany, October 5-9, 1992.
2. Братута Э.Г., Ярошенко Т.И., Акмен Р.Г., Круглякова О.В. Математическая модель конденсации пара в аппарате контактного типа // Электронное моделирование.

– Т.24. – №4. – 1999. – С. 28–34.

3. Чао (Chao В.Т.) Нестационарный тепло- и массообмен при поступательном движении капли // Теплопередача. – Т.91. – №2. – 1969. – С.110–118.

4. Чжун (Chung J.H.) и Чжан (Chung J.H.). Математическая модель тепло- и массообмена при конденсации на капле, движущейся в собственном паре // Теплопередача. – Т.106. – №2. – 1981. – С.145–154.

5. Братута Э.Г., Акмен Р.Г., Круглякова О.В. Выбор краевых условий теплообмена при математическом моделировании процессов конденсации пара на поверхности капель дисперсной жидкости //Интегровані технології та енергозбереження. – №1. – 1999. – С. 31–37.

6. Братута Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях. – Харьков: Выща школа, 1987. – 144 с.

УДК 536.248.2

Акмен Р.Г., Братута Е.Г., Круглякова О.В.

### **ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ У КРАПЛІ НА ТЕПЛОСПРИЙНЯТТЯ КРАПЛИННОГО СЕРЕДОВИЩА У КОНДЕНСАТОРІ ЗМІШУЮЧОГО ТИПУ**

У роботі надана математична модель, що відбиває вплив вихорів Хілла на теплосприйняття краплі в процесі конденсації пари на її поверхні.